

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Коробов Ю.С., Шумяков В.И., Филиппов М.А.,
Невежин С.В., Жилин А.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
Уральский институт сварки, г. Екатеринбург
yukorobov@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, СТОЙКИХ К ИЗНОСУ И ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ

Для повышения ресурса машин различного назначения эффективно нанесение газотермических покрытий, стойких к износу и газовой коррозии. Их нанесение из порошковых проволок (ПП) металлизацией отличается высокой технологичностью. Лучшее качество покрытий при реализации этих процессов обеспечивают процессы активированной дуговой [1] и сверхзвуковой газовой [2] металлизации. При сопоставимом качестве у первого процесса выше производительность в 5–7 раз, до 15 кг/ч при напылении стали. Второй удобнее для работы в монтажных условиях, поскольку требует подвода только газов в качестве энергоносителей. Ниже представлены результаты разработки порошковых проволок, покрытия из которых отличаются стойкостью к износу при температурах до 200 °С (износостойкие), и к газовой коррозии при температурах до 700 °С (жаростойкие).

Износостойкие порошковые проволоки

Для получения износостойких покрытий используют сплошные и порошковые проволоки из сталей мартенситного класса (типа 40X13), ПП, в шихту которых введены карбиды бора, вольфрама, хрома, а также ПП, обеспечивающие в покрытии структуру метастабильного аустенита (МСА).

Последние представляют особый интерес. Материалы, содержащие углеродистый МСА в качестве структурной составляющей, отличаются экономичностью легирования, показывают высокую стойкость в различных условиях механического изнашивания (абразивного, ударно-

абразивного, гидро- и газоабразивного, эрозионного, кавитационного, адгезионного, усталостного и др.). Это обусловлено тем, что при контактном нагружении поверхности энергия внешнего воздействия расходуется в первую очередь на преобразование микрогетерогенной структуры МСА в дисперсный мартенсит. В результате при эксплуатации повышаются как твердость, так и износостойкость таких материалов.

Исследования материалов со структурой МСА для различных применений ведутся в УрФУ (ранее УПИ) с середины 50-х гг. [3]. На сегодняшнем этапе в рамках этого направления разработана и запатентована ПП для металлизации, марки ППМ-6 [4].

Ниже представлены результаты анализа фазового состава и структуры покрытий, полученных методом активированной дуговой металлизации (АДМ) с помощью порошковой проволоки состава, близкого к 150Х8Т2. Толщина покрытия 1,0 мм, основа из малоуглеродистой стали. Травление продольных и поперечных шлифов производилось царской водкой, микротвёрдость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузках 50 и 100 г.

Металлографический анализ поперечных шлифов покрытий показал (рис. 1), что структура покрытия имеет характерный, волнообразный характер расположения структурных составляющих. У покрытия хорошее соединение с основанием, трещин не обнаружено, окисный слой тонкий, имеются редкие утолщения или пустоты, граница между покрытием и основанием имеет зигзагообразную конфигурацию.

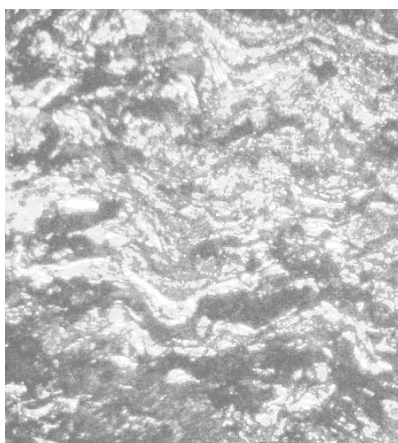


Рис. 1. Структура АДМ-покрытия из порошковой проволоки типа 150Х8Т2, $\times 200$

Согласно рентгеноструктурному анализу фазовый состав напыленного покрытия с поверхности представляет собой совокупность металлической основы, первичных карбидов титана (TiC), карбидов хрома, а также оксидных фаз. Структура металлической основы представляет собой мар-

тенсит и остаточный аустенит, количество последнего составляет около 50 %. Микротвердость покрытия 620–820 МПа,

Покрyтия были подвергнуты сорокакратному обкатыванию металлическим шариком диаметром 10 мм из стали ШХ15 при скорости движения 0,158 м/сек. Нормальная нагрузка на образец составила 10 Н. После обкатывания на рабочей поверхности количество остаточного аустенита уменьшилось до 20 %, а мартенсита соответственно возросло, что указывает на метастабильность аустенита и его способность к мартенситному $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению при рабочем нагружении. Образования трещин, отколов на обкатанной поверхности не обнаружено.

Микротвердость поверхности (HV_{100}) после обкатки возросла в среднем на 25–30 %, до уровня 800–1100 МПа (рис. 2). Для сравнения, согласно нашим измерениям, микротвердость до/после обкатки составила 420/500 МПа для покрытий из стали У8, 250/300 МПа – из 08Г2С.

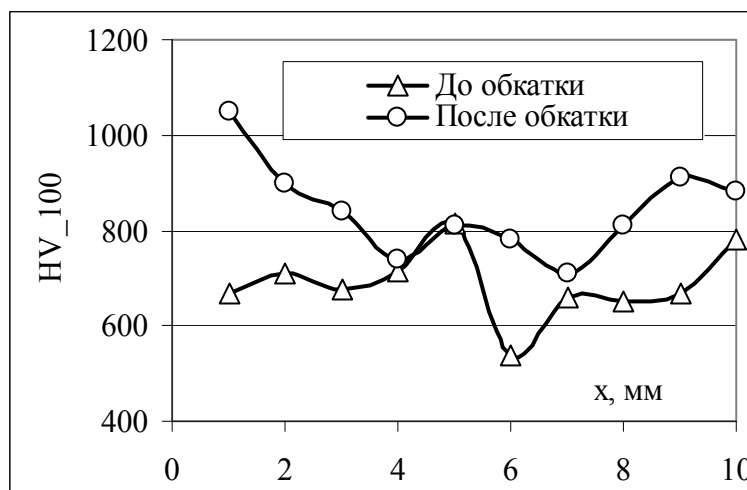


Рис. 2. Микротвердость поверхности напыленного покрытия из проволоки типа 150X8T2 до и после обкатывания

Адгезионная прочность составила 40–45 МПа, что соответствует уровню для нихрома, типовому материалу для подслоя. Такое значение связано, очевидно, с повышением температуры частиц за счет тепла экзотермических реакций железа с компонентами шихты.

Полученные характеристики твердости и адгезионной прочности достаточны для обеспечения надежности покрытий на поверхностях деталей типового применения. Это шейки валов/осей под подшипники качения и скольжения, рабочие поверхности штоков гидроцилиндров, плоские направляющие. На рис. 3 приведены примеры применения покрытий со структурой МСА, полученных активированной дуговой металлизацией из проволоки ППМ-6.

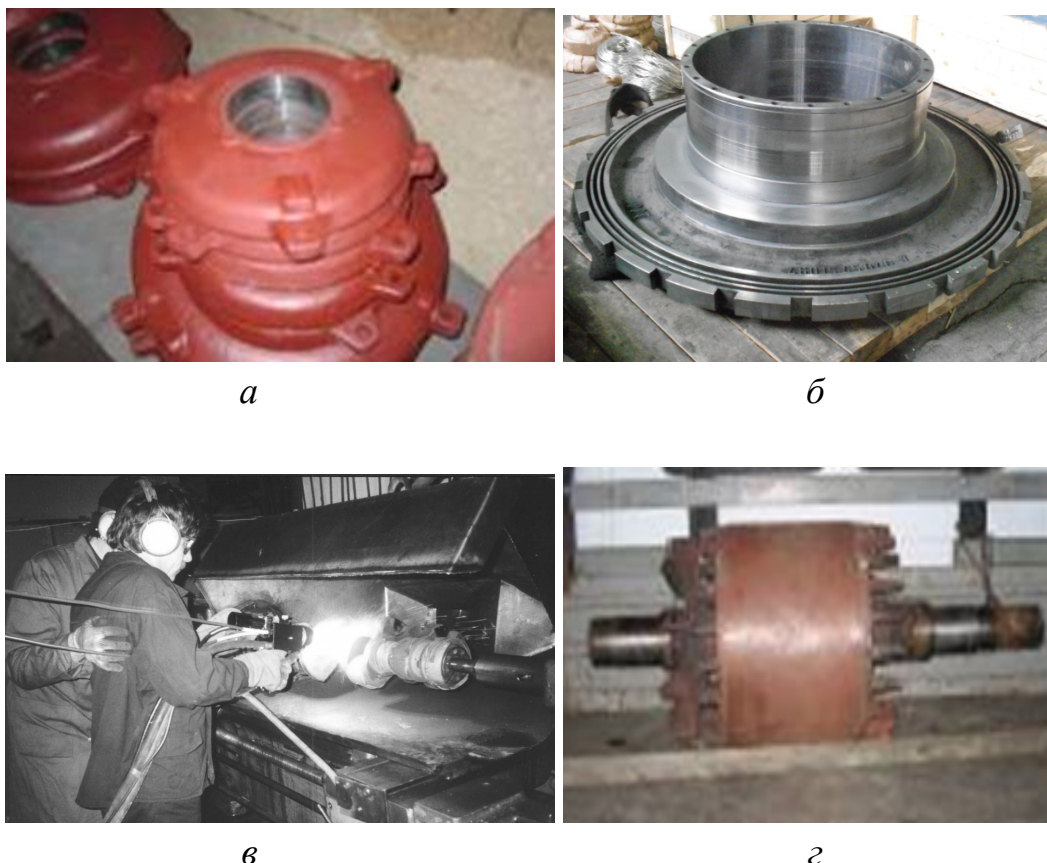


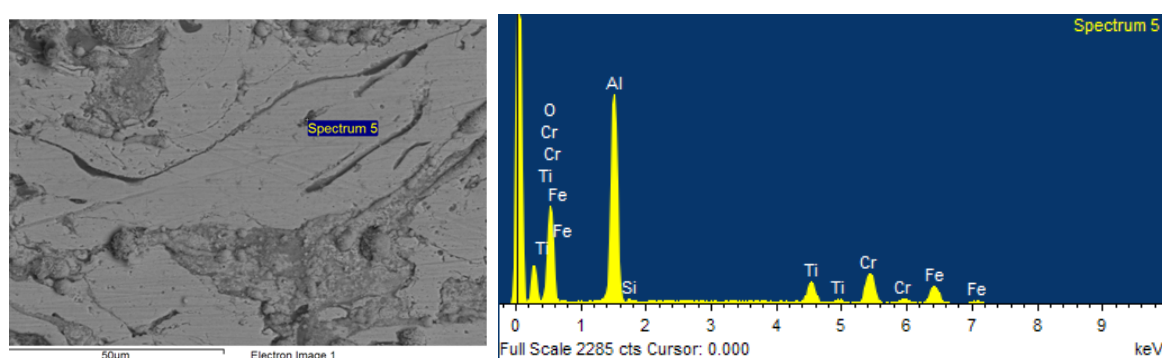
Рис. 3. Характерные детали с покрытиями со структурой МСА:
а – подшипниковые шиты электродвигателей $\varnothing 250 \dots 1200$ (ТехНаМет, Магнитогорск); *б* – Опора станка, на поверхности скольжения $\varnothing 500$ покрытие толщиной 5 мм, (Машпром, Екатеринбург); *в* – напыление коленчатого вала двигателя «Камаз» (авторемзавод, Красноярск); *г* – ротор электродвигателя, шейки под подшипники качения (ПермьГлобалстройсервис)

Жаростойкие порошковые проволоки.

Для повышения жаростойкости деталей, работающих в условиях высокотемпературной газовой коррозии, например трубы топочных экранов и пароперегревателей бойлеров тепловых электростанций, применяют, в частности, нанесение защитных покрытий дуговой металлизацией системы легирования Fe-Cr-Al [5]. Их жаростойкость обусловлена формированием на поверхности оксидной пленки Al_2O_3 , которая характеризуется высокой температурой плавления, химической и термической стабильностью. Однако протекание при нагреве покрытий процессов локальной высокотемпературной коррозии, диффузии кислорода и азота в подокалинные слои приводят к снижению жаростойкости.

Для жаростойких применений нами разработана ПП указанной системы легирования, марки ППМ-7, в состав которой дополнительно введены кремний и титан.

Исследования показали, что введение титана препятствует развитию локальной высокотемпературной коррозии. В покрытии при этом образуются термодинамически стабильные и жаростойкие карбиды TiC. При этом предотвращается формирование железохромистых карбидов $(Fe,Cr)_7C_3$ и шпинелей $(Fe,Cr)_2O_3$, обладающих низкими защитными свойствами (рис. 4).



a *б*

Element		O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Totals
Content	wt. %	37.41	31.94	0.34	6.36	12.85	11.09	100
	at. %	56.86	28.78	0.3	3.23	6.01	4.83	100

в

Рис. 4. Результаты растровой электронной микроскопии Fe-Cr-Al-Ti покрытий: *a* – микроструктура; *б* – спектр; *в* – расшифровка спектра

При нагреве за счет диффузии железа к поверхности окарины, а также диффузии кислорода и азота в подокалинные слои происходит образование оксидов железа Fe_2O_3 и нитридов алюминия AlN, что негативным образом сказывается на жаростойкости покрытий. С целью торможения указанных диффузионных процессов, в шихту разработанной ПП введен кремний, что приводит к образованию подокалинного диффузионно-барьерного слоя окисла SiO_2 , при этом предотвращено формирование Fe_2O_3 и AlN.

Для разработанных ПП после нагрева покрытий до 700 °С были проведены изучение структуры и испытания на жаростойкость.

При увеличении видно, что в структуре преобладает оксид алюминия, его количество увеличивается при добавлении кремния и титана (рис. 5).

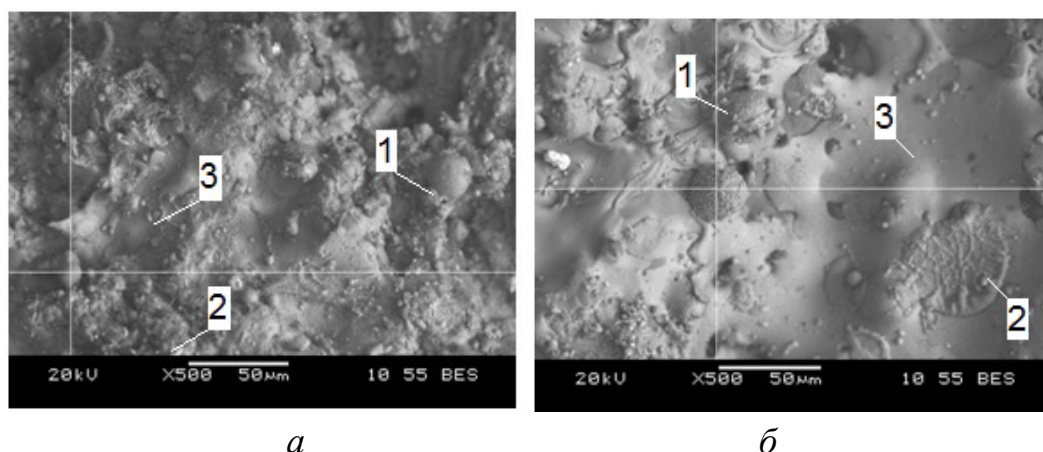


Рис. 5. Микроструктура поверхности покрытий из проволок типа Fe-Cr-Al, выдержка 24 ч, 700 °С: *а* – Fe-Cr-Al; *б* – Fe-Cr-Al-Si-Ti.
1 – Fe₂O₃, 2 - Cr₂O₃, 3 – Al₂O₃

Испытания на жаростойкость были проведены при выдержке в течение 24 часов при температуре 700 °С. Удельная потеря массы образцов с АДМ-покрытием составляет 0,4 г/(м²·ч). Это на порядок ниже аналогичных значений для перлитных и мартенситно-ферритных сталей, широко используемых в котлостроении, таких как 12Х1МФ ГОСТ 20072 и 1Х12В2МФ ГОСТ 5632, составляющих 10-80 г/(м²·ч) и сопоставимы с показателем аустенитных сталей 1Х18Н12Т и Х23Н18 ГОСТ 5632, составляющих 0,1–0,4 г/(м²·ч) [6, 7].

Представленные износо- и жаростойкие проволоки освоены в серийном производстве и могут быть поставлены потребителям.

Список источников

1. Коробов Ю. С., Прядко А. С. Активированная дуговая металлизация – новый шаг в защите деталей от износа и коррозии // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. № 10. С. 38–40.
2. www.technicord.ru.
3. Износостойкие стали для отливок: монография / М. А. Филиппов, А. А. Филиппенков, Г. Н. Плотников. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. 358 с.
4. Коробов Ю. С., Белозерцев А. А., Филиппов М. А., Шумяков В. И. Модель нагрева порошковой проволоки при дуговой металлизации и анализ структуры покрытия // Сварочное производство. 2008. № 12. С. 15–20.

5. Pokhmurs'kyi V., Student M., Formanek B., Serivka V., Dz'oba Yu., Dovhunyuk V., Sydorak I. Heat resistance of electric arc coatings made of Fe-Cr-B-Al powder wire // Materials Science. 2003. Vol. 39, No. 6.
6. Никитин В.И. Расчет жаростойкости металлов. М.: Металлургия, 1976. 207с.
7. Viswanathan R., Sarver J., Tanzosh J.M. Boiler Materials for Ultra-Supercritical Coal Power Plants - Steamside Oxidation // J. of Materials Engineering and Performance. 2006. Vol. 15(3) June. P. 255–274.